Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 1, Apr. May. 2019, p.133- 144

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره1، فروردین -اردیبهشت 1398 ص.144-133

اثر فرایند برشته کردن به روش آون و مادون قرمز بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی دانه سویا

فرشته غلامی[1]- سارا انصاری[2]

تاریخ دریافت: 1397/01/26
تاریخ پذیرش: 1397/05/29

چکیده

در این تحقیق، برشته کردن دانه‌های سویا به دو روش آون و مادون قرمز انجام شد و از روش سطح پاسخ به‌منظور بررسی اثر هر یک از فرایندهای مذکور بر میزان رطوبت، ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، سفتی و تغییرات رنگ دانه‌های سویا استفاده گردید. معادله پیشنهادی جهت بررسی اثر دما و زمان برشته کردن بر میزان کاهش رطوبت در روش آون درجه دوم و در روش مادون قرمز خطی بوده و اثر آنها معنی‌دار (p<0/05) گزارش شد. در هر دو روش، میزان ترکیبات فنولی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از معادله درجه دوم پیروی کرده و اثر فاکتورهای مربوطه هم معنی‌دار (p<0/05) بود و با افزایش دما و زمان، میزان پاسخ‌های فوق نیز افزایش یافت. سفتی و تغییرات رنگی در روش آون از معادله درجه یک و در روش مادون قرمز تنها تغییرات رنگی از معادله درجه اول پیروی کردند. اثر پارامترهای مربوطه در کلیه مدل‌های پیشنهادی معنی‌دار بود. شرایط بهینه برای برشته کردن دانه‌های سویا با آون و مادون قرمز به‌ترتیب 223°C در 13 دقیقه و 231°C در 11 دقیقه محاسبه گردید. در شرایط بهینه مقادیر رطوبت، ترکیبات فنولی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، سفتی و تغییرات رنگی اندازه‌گیری شده به‌ترتیب برای روش آون و مادون قرمز عبارتند از: (1/10، 4/53، 42/75، 9/03 و 4/93) و (1/58، 4/93، 47/85، 6/20 و 4/79). با توجه به نتایج، روش مادون قرمز در مقایسه با آون می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین جهت برشته کردن دانه‌های سویا معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: دانه سویا، برشته کردن ، مادون قرمز، آون، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

مقدمه

سویا با نام علمی *Glycine max* L. متعلق به خانواده بقولات به‌عنوان یک ماده غذایی محبوب به‌ویژه در پخت و پز توسط افراد آسیای شرقی استفاده می‌شود. سویا یک منبع اصلی از پروتئین و روغن با کیفیت بالاست و کیفیت دانه‌های سویا اغلب توسط مقدار مواد معدنی و پروتئین دانه‌ها تشخیص داده می‌شود. کیفیت دانه سویا برای تغذیه انسان و حیوان مهم است (Kim *et al*., 2011). به‌علاوه، دانه سویا حاوی مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات شیمیایی گیاهان شامل ایزوفلاون، اولیگوساکاریدها، ساپونین‌ها، فیتات‌ها و ترکیبات فنولی بوده که دارای فواید سلامتی بخش زیادی بر جلوگیری از ابتلا به بیماری‌های مختلف نظیر سرطان، بیمارهای قلبی-عروقی، چاقی، دیابت و بیماری‌هایی که کمبود آنتی اکسیدان‌ها در آن دخیل هستند، می باشد (Thidarat *et al*., 2016).

برشته کردن یک عملیات فرایند غذایی با استفاده از انرژی گرمایشی خشک است که با اهداف متفاوتی به‌منظور برآورده کردن برخی از نیازهای خاص به‌کار می‌رود. اهداف اصلی این فرایند شامل پختن (بدون استفاده از آب یا روغن) یا ژلاتینیه کردن، افزایش دادن حجم/ برشته کردن (با صدا ترکاندن[3])/ پف دادن[4] مواد غذایی، غیرفعال کردن عوامل ضد تغذیه‌ای و آماده‌سازی فراورده‌های غذایی به‌صورتی قابل کنترل، خوش طعم و دلپذیر است. هیچ تعریف پذیرفته شده برای برشته کردن وجود ندارد و تعیین حد و مرز آن با تست کردن[5]، نامشخص است (Fast, 1990; Fellows, 2009). اثر فرایند برشته کردن در فرآوری مواد غذایی، بهبود بافت، اصلاح کیفیت و امنیت مواد غذایی همچون دانه سویا، فندق، دانه‌های قهوه، پسته، بادام، گردو و کنجد گزارش شده است. فرایند برشته کردن باعث آغاز اکسیداسیون چربی و تشکیل ترکیبات کربونیل می‌شود؛ اما از طرفی همین فرایند به دلیل اثر آنتی‌اکسیدانی فرآورده‌های حاصل از واکنش مایلارد که مربوط به تشکیل ساختارهای فنولی و/ یا خصوصیت

1 و 2- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون، کازرون.
(* - نویسنده مسئول: Email: ansari.fse@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v0i0.72043

3 Pop
4 Puff
5 Toasting

کمپلکس کردن فلزات توسط ملانوئیدین‌ها می‌شود، می‌تواند باعث پایداری بیشتر روغن دانه‌ها در مقابل اکسیداسیون شود (فضلی عقدائی و همکاران، 1395).

امواج مادون قرمز بین بخش‌های مرئی و مایکروویو از طیف الکترومغناطیسی قرار دارند و دارای طول موج 3×10^{11} - 4×10^{14} هرتز است. گرمایش لامپ هالوژن اشعه مادون قرمز ایجاد می‌کند که هنگام برخورد به جسم ممکن است اشعه منعکس، عبور یا جذب شود. امواج جذب شده تبدیل به گرما شده و موجب افزایش دمای محصول در عرض چند ثانیه می‌گردد. این روش موجب انتقال سریع مقدار بالای انرژی و کنترل عالی فرایند می‌گردد. اشعه مادون قرمز دارای عمق نفوذ چند میلی‌متری در بسیاری از غذاهاست و بنابراین می‌تواند همان اثر مایکروویو و یا فرکانس‌های بالاتر را برای لایه نازک مواد داشته باشد. از این تکنیک می‌توان برای پختن، برشته کردن، خشک کردن، سرخ کردن، انجمادزدایی و پاستوریزایون مواد بسته‌بندی استفاده کرد. گرچه این فرایند در مقایسه با روش معمول حرارتی موثرتر است، ولی نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارد (Demirekler, 2004).

تحقیقات زیادی در خصوص برشته کردن دانه‌های خوراکی با روش‌های مختلف انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به بهینه‌سازی فرایند برشته کردن فندق با مادون قرمز (Uysal *et al.*, 2009)، اثر اکستروژن، مادون قرمز و مایکروویو بر دانه سویا (Zilic *et al.*, 2013)، فرایند برشته کردن کنجاله پسته به دو روش آون و مایکروویو (فضلی عقدائی و همکاران، 1395)، برشته کردن بادام زمینی به روش‌های آون و مایکروویو (Smith *et al.*, 2014) و برشته کردن بادام به روش مایکروویو (Milcarek *et al.*, 2014) اشاره کرد.

هدف از این پژوهش، بررسی اثر حرارت‌دهی به روش مادون قرمز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی دانه سویا در مقایسه با روش حرارت‌دهی با آون می‌باشد. همچنین تاثیر فاکتورهای فرایند برشته کردن به هر دو روش بر ویژگی‌های فوق با روش سطح پاسخ[1] مدلسازی شده و شرایط بهینه برای برشته کردن ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

دانه‌های سویا از مزارع شمال کشور (گرگان) جمع‌آوری شدند. دانه‌ها بعد از جمع‌آوری با آون به مدت 48 ساعت در دمای 40°C تا محتوای رطوبتی کمتر از 5 درصد وزنی/ وزنی خشک شدند. کلیه مواد اولیه خریداری شده مخصوص آنالیز شیمیایی بودند.

تیمارهای حرارتی

آماده‌سازی دانه‌های سویای برشته شده با آون

برای هر تیمار، 25 گرم دانه سویا بو نداده در داخل پتری شیشه‌ای قرار گرفت و با آون الکتریکی در محدوده 180- 260°C به مدت 5 -15 دقیقه حرارت داده شد. جزئیات بیشتر در جدول 1 و 2 گزارش شده است.

آماده‌سازی دانه‌های سویای برشته شده با مادون قرمز

جهت برشته کردن دانه‌های سویا با مادون قرمز، از دستگاه تولیدکننده امواج مادون قرمز با توان ثابت 1300 وات، در محدوه دمایی 180- 240°C به مدت 15-5 دقیقه استفاده شد. جزئیات بیشتر در جدول 1 و 2 گزارش شده است.

جدول 1- دامنه و سطوح متغیرهای مستقل در دو روش برشته کردن

متغیر مستقل	نماد	سطوح		
برشته کردن با آون				
		۱-	۰	۱+
دما (°C)	A	۱۸۰	۲۲۰	۲۶۰
زمان (دقیقه)	B	۵	۱۰	۱۵
برشته کردن با مادون قرمز				
		۱-	۰	۱+
دما (°C)	A	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰
زمان (دقیقه)	B	۵	۱۰	۱۵

طراحی آزمایش‌ها

به‌منظور بهینه‌سازی شرایط فرایند برشته کردن دانه سویا با آون و مادون قرمز از روش سطح پاسخ استفاده شد. این روش به دلیل کاهش زمان و هزینه بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش آماری انتخاب مناسب‌ترین متغیرها مهم است تا در مراحل بعدی تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین شرایط بهینه به سهولت امکانپذیر گردد. در این پژوهش، دو روش برای برشته کردن دانه سویا به‌کار گرفته شده است. برای هر روش، نمادها و کدهای خاصی استفاده شد که در جدول 1 گزارش شده است. براساس پارامترهای جدول 1، طرح مرکب مرکزی[2] از نرم‌افزار Design-Expert به‌کار رفت. برای هر روش سیزده شرایط فرایندی انتخاب گردید و پاسخ‌هایی همچون میزان رطوبت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنولی، سفتی و تغییرات رنگی بررسی شدند (جدول 2).

---

1 Response Surface Methodology or RSM

2 Central Composite Design

اندازه‌گیری رطوبت

اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها به روش خشک کردن با آون انجام شد (AOAC, 2003). 3 تا 5 گرم نمونه در آون با دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت حرارت داده شد. میزان رطوبت با محاسبه وزن دانه‌ها قبل و بعد از خشک کردن محاسبه شد.

جدول 2- تیمارهای تصادفی آزمایش براساس متغیرهای فرایند برشته کردن به روش آون و مادون قرمز در طرح روش سطح پاسخ

برشته کردن با آون			برشته کردن با مادون قرمز		
تیمار	متغیر مستقل A	متغیر مستقل B	تیمار	متغیر مستقل A	متغیر مستقل B
۱	۲۲۰	۵	۱	۱۸۰	۵
۲	۲۶۰	۱۰	۲	۲۱۰	۱۵
۳	۱۸۰	۱۵	۳	۲۱۰	۱۰
۴	۲۲۰	۱۰	۴	۱۸۰	۱۵
۵	۲۶۰	۵	۵	۲۱۰	۱۰
۶	۱۸۰	۵	۶	۲۱۰	۵
۷	۲۲۰	۱۰	۷	۱۸۰	۱۰
۸	۲۶۰	۱۵	۸	۲۱۰	۱۰
۹	۱۸۰	۱۵	۹	۲۱۰	۱۰
۱۰	۱۸۰	۱۰	۱۰	۲۱۰	۱۰
۱۱	۲۲۰	۱۰	۱۱	۲۴۰	۱۵
۱۲	۲۲۰	۱۰	۱۲	۲۴۰	۵
۱۳	۲۲۰	۱۰	۱۳	۲۴۰	۱۰

برشته کردن با آون			برشته کردن با مادون قرمز		
تیمار	متغیر مستقل A	متغیر مستقل B	تیمار	متغیر مستقل A	متغیر مستقل B
۱	۲۲۰	۵	۱	۱۸۰	۵
۲	۲۶۰	۱۰	۲	۲۱۰	۱۵
۳	۱۸۰	۱۵	۳	۲۱۰	۱۰
۴	۲۲۰	۱۰	۴	۱۸۰	۱۵
۵	۲۶۰	۵	۵	۲۱۰	۱۰
۶	۱۸۰	۵	۶	۲۱۰	۵
۷	۲۲۰	۱۰	۷	۱۸۰	۱۰
۸	۲۶۰	۱۵	۸	۲۱۰	۱۰
۹	۱۸۰	۱۵	۹	۲۱۰	۱۰
۱۰	۱۸۰	۱۰	۱۰	۲۱۰	۱۰
۱۱	۲۲۰	۱۰	۱۱	۲۴۰	۱۵
۱۲	۲۲۰	۱۰	۱۲	۲۴۰	۵
۱۳	۲۲۰	۱۰	۱۳	۲۴۰	۱۰

استخراج عصاره دانه سویای برشته شده

بعد از حرارت‌دهی، دانه‌های سویا با آسیاب خانگی (نشنال، MJ-176NR، ژاپن) کاملاً پودر شدند. 2 گرم پودر دانه سویا با 20 میلی‌لیتر متانول 80 درصد حجمی/ حجمی مخلوط شد. ظرف‌های حاوی نمونه به حمام شیکردار با سرعت 200 دور بر دقیقه به مدت 30 دقیقه منتقل گردید (دمای 23°C). بعد از سانتریفوژ کردن در دور 10000×g به مدت 20 دقیقه (4°C) فاز رویی جمع‌آوری و برای آزمون‌های فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنولی کل استفاده شد (Dewanto *et al.*, 2002).

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی

برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولی از روش فولین-سیوکالتیو[1] استفاده شد (Kim *et al.*, 2011; Sitthitrai *et al.*, 2015). عصاره‌های رقیق شده با 0/2 میلی‌لیتر شناساگر 2 مولار فولین- سیوکالتیو مخلوط شده و با سدیم کربنات 7/5 درصد خنثی شد. سپس، نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه در دمای اتاق و جای تاریک نگهداری شدند. در نهایت جذب در 725 نانومتر خوانده شد. ترکیبات فنولی کل به‌صورت میلی‌گرم اسید گالیک در برابر گرم وزن تر (mg GAE/g FW) نمونه گزارش شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش 1، 1- دی فنیل-2- پیکریل هیدرازیل[2] (DPPH) انجام گرفت (Kim *et al.*, 2011; Sitthitrai *et al.*, 2015). 3 گرم عصاره دانه سویا با یک میلی‌لیتر محلول 0/2 میلی مولار DPPH و 3 میلی‌لیتر متانول مخلوط شدند. مخلوط حاصل در دمای اتاق به مدت 30 دقیقه در تاریکی نگه داشته شد. جذب محلول حاصل در 517 نانومتر اندازه گیری شد و متانول به‌عنوان شاهد انتخاب گردید.

سنجش بافت

ارزیابی بافت نمونه‌های سویای برشته شده براساس روش Uysal و همکاران (2009) با اندکی تغییر انجام شد. تست فشردن با دستگاه آنالیز بافت (هوسفد، YL6500، کره) مجهز به پروب استوانه‌ای به قطر 30 میلی‌متر و سرعت 25 میلی‌متر بر ثانیه صورت گرفت. دما در زمان انجام تست سنجش بافت 25°C بود و سفتی بلافاصله بعد از باز کردن کیسه‌های پلاستیکی انجام شد. حداکثر نیرو برای شکست دانه‌های سویا به‌صورت سفتی (نیوتن) گزارش شد.

رنگ‌سنجی نمونه‌ها

رنگ نمونه‌های دانه سویا با عکسبرداری توسط دوربین (کانن، AV20، ژاپن) با تنظیمات مشخص (تنظیم دستی، بزرگنمایی 0/4 متر و فلاش خاموش) در جعبه مخصوص و شرایط کنترل شده نوری انجام گرفت. عکس‌ها به حالت JPEG در نرم‌افزار فتوشاپ آنالیز می‌گردد و پارامترهای *L، *a و *b تعیین شدند. پارامتر تفاوت رنگ (ΔE) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_o)^2 + (a_i - a_o)^2 + (b_i - b_o)^2} \qquad (1)$$

i و o به ترتیب مقدیر مربوط به نمونه و شاهد است (Yam *et al*. 2004).

1 Folin-Ciocalteu method

2 1,1-diphenyl-2-2-picrylhydrazyl

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

معادلات و ضرایب رگرسیون درجه دوم در تحلیل طرح روش سطح پاسخ با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن 9 انجام شد. برای تعیین معنی‌دار بودن داده‌ها، از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شد.

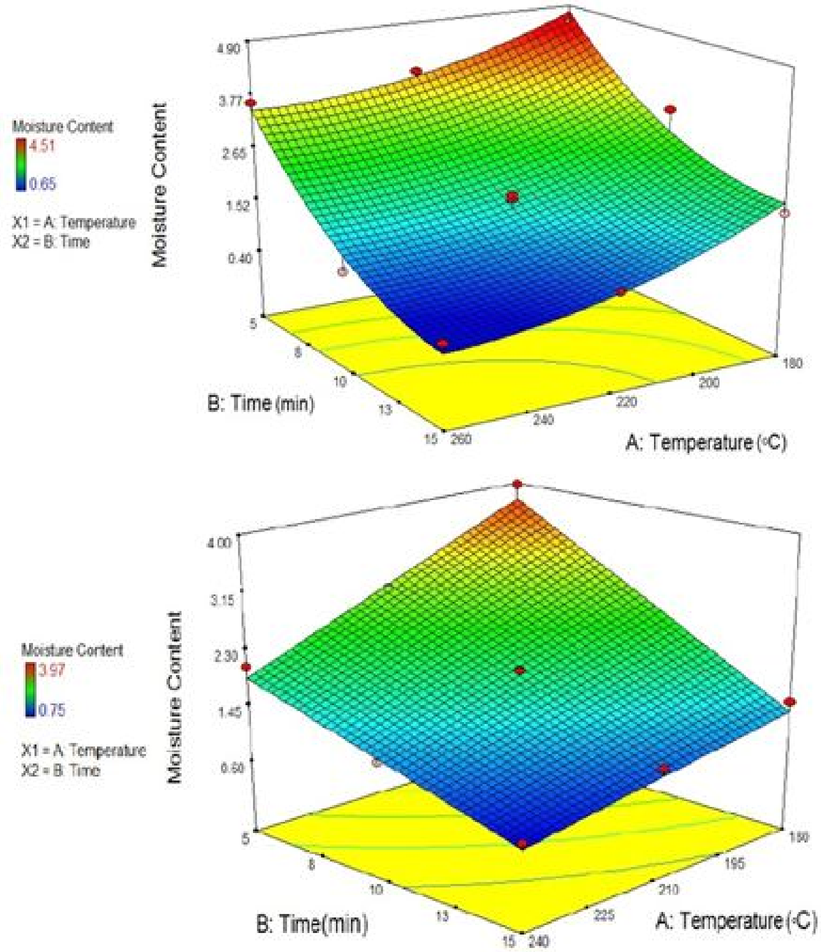
نتایج و بحث

اندازه‌گیری رطوبت

نتایج اثر برشته کردن به روش آون و مادون قرمز در شکل1 و جدول 3 نشان داده شده است. مطابق شکل1، افزایش میزان دما و زمان موجب کاهش میزان رطوبت گردید. کاهش میزان رطوبت در روش آون با معادله درجه دوم مطابقت داشت؛ اما دما و زمان در روش مادون قرمز اثر خطی دارد.

$$Y_{1\text{Oven roasting}} = + 20.99346 - 0.11319\ A - 0.67243\ B - 5.12500 \times 10^{-4}\ AB + 2.26185 \times 10^{-4}\ A^2 + 0.05276\ B^2 \quad (2)$$

$$Y_{1\text{Infrared roasting}} = + 12.30910 - 0.040944\ A - 0.59650\ B + 1.98333 \times 10^{-3}\ AB \quad (3)$$



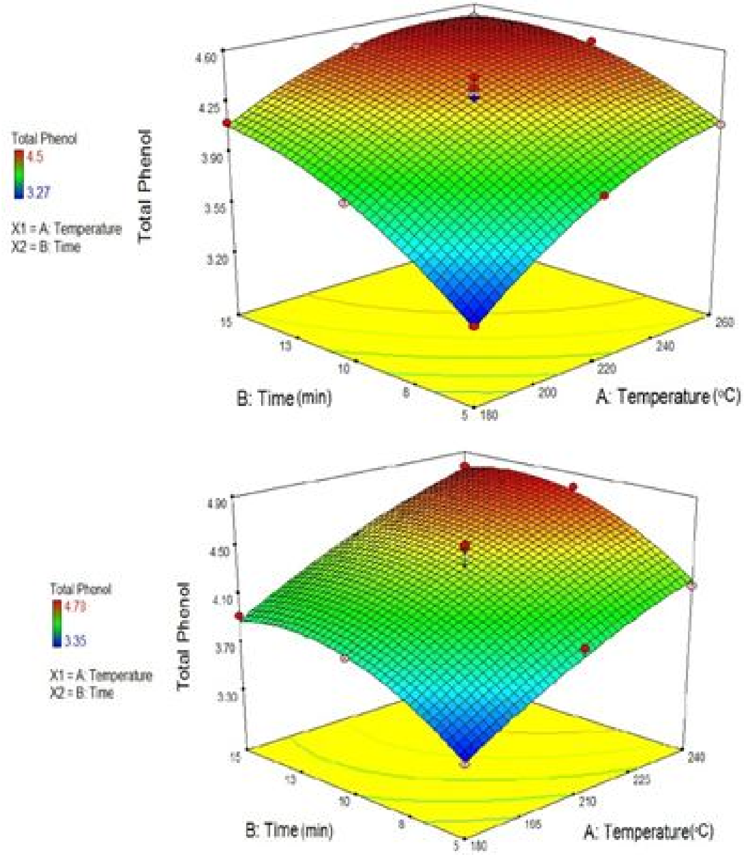
شکل 1- اثر متقابل دما و زمان برشته کردن به دو روش آون و مادون قرمز بر میزان رطوبت دانه سویا

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که معادله درجه دوم برازش شده برای داده‌های اندازه‌گیری رطوبت به روش آون در سطح 0/05 معنی‌دار است؛ اما اثر متقابل بین دما و زمان، توان دوم دما و شاخص عدم برازش غیرمعنی‌دار ($p>0/05$) بود. در خصوص روش مادون قرمز، اثر دما و زمان در سطح 0/05 معنی‌دار بود. همچنین، یک اثر متقابل منفی معنی‌دار در سطح 0/05 بین دما و زمان بر رطوبت دانه‌های سویا مشاهده شد. شاخص عدم برازش برای این روش معنی‌دار نبود ($p>0/05$). مدل پیشنهادی برای هر دو روش برشته

کردن معنی‌دار بوده و ضریب تبیین (R^2) برای روش برشته کردن با آون و مادون قرمز به‌ترتیب 0/9598 و 0/9638 محاسبه شد. به‌طور کلی، محتوای رطوبتی مواد مختلف که در معرض حرارت‌دهی قرار می‌گیرند با افزایش دما و زمان فرایند، به دلیل ایجاد اختلاف دمایی و فشار بالاتر و به دنبال آن ایجاد اختلاف رطوبتی و استفاده بیشتر از انرژی حرارتی، بیشتر کاهش می‌یابد که این امری بدیهی است (Chung *et al.*, 2011). به علاوه، امواج مادون قرمز توسط اجزای قطبی به‌خصوص مولکول‌های آب در ماده غذایی جذب شده؛ اما برخلاف مایکروویو قابلیت نفوذ در عمق ماده را ندارند و بیشتر در سطوح اولیه جذب می‌گردند. Chung و همکاران (2011) چنین روندی را برای دانه‌های ذرت طی دما و زمان‌های مختلف گزارش کردند. Vega-Galvez و همکاران (2012) گزارش کردند که وزن برش‌های سیب با افزایش دما و سرعت خشک کردن کاهش می‌یابد. به‌علاوه، Thidarat و همکاران (2016) کاهش وزن دانه‌های سویا را طی زمان‌های مختلف حرارت‌دهی گزارش کردند.

میزان ترکیبات فنولی کل

میزان و نوع ترکیبات فنولی موجود در محصولات مختلف، شدیداً تحت تأثیر نوع محصول، روش برشته کردن و جایگاه ترکیبات فنولی در محصول است. نتایج مربوط به اثر فرایند برشته کردن بر میزان ترکیبات فنولی در شکل 2 و جدول 3 نشان داده شده است.



شکل 2- اثر متقابل دما و زمان برشته کردن به دو روش آون و مادون قرمز بر میزان ترکیبات فنولی دانه سویا

در هر دو روش آون و مادون قرمز، میزان ترکیبات فنولی با معادله درجه دوم تعیین شد. به‌جز اثر متقابل دما و زمان در روش مادون قرمز، اثر درجه اول، دوم و اثر متقابل بین دما و زمان برای هر دو مدل در سطح 0/05 معنی‌دار بود. شاخص عدم برازش برای هر دو مدل غیرمعنی‌دار ($p>0/05$) بود. ضریب تبیین (R^2) برای روش برشته کردن با آون و مادون قرمز بالای 0/90 محاسبه شد.

$$Y_{2\text{Oven roasting}} = +\ 15.36920 - 0.10597\ A - 0.53523\ B + 3.03750 \times 10^{-3}\ AB + 2.16649 \times 10^{-4}\ A^2 + 2.36552 \times 10^{-3}\ B^2 \qquad (4)$$

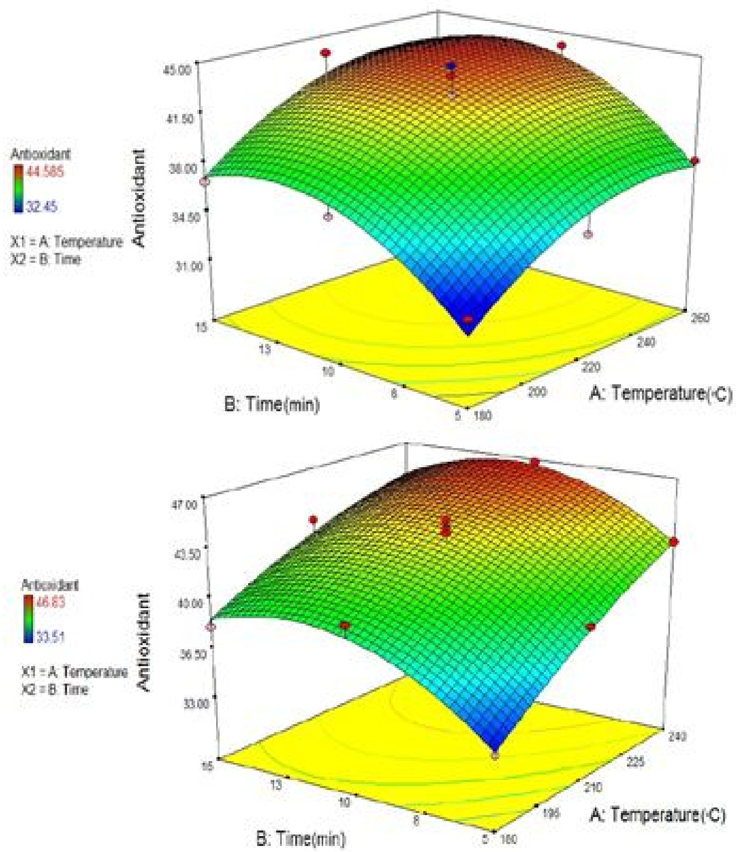
$$Y_{2Infrared\ roasting} = -3.92557 + 0.050349\ A + 0.25110\ B + 1.66667 \times 10^{-5}\ AB - 8.60153 \times 10^{-5}\ A^2 - 0.010097 \times B^2 \quad (5)$$

در روش آون، با افزایش دما و زمان، میزان ترکیبات فنولی افزایش یافته که این امر می‌تواند ناشی از شکست پیوند بین این ترکیبات با مواد دیگری همچون پروتئین‌ها و در نتیجه تسهیل استخراج آنها از دیواره سلولی و هم تولید ترکیبات حاصل از انجام واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در حین عملیات برشته کردن باشد. اگرچه تولید این ترکیبات در دماهای بالا با وجود افزایش ترکیبات فنولی ممکن است باعث ایجاد طعم نامطلوب گردد. در روش برشته کردن با مادون قرمز نیز با افزایش دما و زمان میزان ترکیبات فنولی به دلیل باز شدن بافت فیبری و تخریب دیواره سلولی و در نهایت سهولت در امر استخراج، افزایش یافت. اما به دلیل نفوذ کمتر امواج مادون قرمز به عمق ماده غذایی، استخراج ترکیبات فنولی در مقایسه با آون کمتر است. در انتها نیز با افزایش بیش از حد دما و زمان فرایند اندکی باعث از دست رفتن ترکیبات فنولی حساس به حرارت می‌شود.

Hyo و همکاران (2011) گزارش کردند که میزان ترکیبات فنولی سویا سیاه کوچک بعد از برشته کردن بیشتر از نمونه خام است. آنها افزایش در میزان ترکیبات فنولی را به افزایش آزاد شدن ترکیبات شیمیایی گیاهان همچون اسیدهای فنولی مربوط می‌دانند. حرارت غشای سلولی و دیواره سلولی را از بین می‌برد، که ترکیبات فنولی محلول از پیوندهای استر نامحلول رها می‌گردند (Dewanto *et al*., 2002). به‌علاوه Thidarat و همکاران (2016) افزایش میزان ترکیبات فنولی را با افزایش زمان حرارت‌دهی گزارش کردند که با افزایش بیش از حد دما میزان آن کاهش یافت. فضلی عقدائی و همکاران (1395) گزارش کردند که میزان ترکیبات فنولی کنجاله پسته اهلی و وحشی بو داده از خام بیشتر است (فضلی عقدائی و همکاران، 1395).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه‌های سویا در شکل3 و جدول3 گزارش داده شده است.



شکل 3- اثر متقابل دما و زمان برشته کردن به دو روش آون و مادون قرمز بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه سویا

نتایج نشان داد که با افزایش دما و زمان در هر دو روش برشته کردن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافته است که با روند ترکیبات فنولی کل هم راستاست. در حقیقت، تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی در دو روش آون و مادون قرمز از معادله درجه دوم پیروی می‌کند که به جز اثر متقابل دما و زمان در روش آون و مادون قرمز و اثر توان دوم دما، سایر پارامترها در سطح 0/05 معنی‌دار هستند.

$$Y_{3\text{Oven roasting}} = -63.70953 + 0.72169\,A + 3.24423\,B - 2.18750 \times 10^{-4}\,AB - 1.46961 \times 10^{-3}\,A^2 - 0.13166\,B^2 \quad (5)$$

$$Y_{3\text{Infrared roasting}} = -43.75908 + 0.51588\,A + 3.72464\,B - 4.36667 \times 10^{-3}\,AB - 8.32375 \times 10^{-4}\,A^2 - 0.12277\,B^2 \quad (6)$$

شاخص عدم برازش برای هر دو مدل غیرمعنی‌دار ($p>0/05$) گزارش شد و ضریب R^2 برای روش برشته کردن با آون و مادون قرمز به‌ترتیب برابر 0/9094 و 0/9499 گزارش شد. با توجه به اینکه بیشتر ترکیبات فنولی دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند با افزایش دما و زمان به دلیل افزایش در مقدار ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد؛ که این تغییرات مطابق با تغییرات مربوط به میزان فنول کل است. نتایج نشان داد که دمای برشته کردن بالاتر، درگیری آنتی‌اکسیدان‌های بر پایه مایلارد را افزایش می‌دهد. همانگونه که آنتی‌اکسیدان‌های فنولی به‌طور طبیعی در دانه‌های سویا طی برشته کردن افزایش یافته‌اند، تشکیل دیگر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از واکنش‌های مایلارد هم طی برشته کردن افزایش یافته که در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به دنبال دارد (Thidarat *et al*., 2016). فضلی عقدائی و همکاران (1395) دریافتند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی کنجاله پسته اهلی و وحشی بعد از برشته کردن در مقایسه با نمونه خام بیشتر است (فضلی عقدائی و همکاران، 1395). Kim و همکاران (2011) افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه‌های سویا طی برشته کردن با آون را با افزایش دما و زمان فرایند گزارش کردند.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس مربوط به پاسخ‌های خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفی دانه‌های سویا برشته شده

منبع	مجموع مربعات (برشته کردن با آون): میزان رطوبت	ترکیبات فنولی کل	فعالیت آنتی اکسیدانی	سفتی	تفاوت رنگی	منبع	مجموع مربعات (برشته کردن با مادون قرمز): میزان رطوبت	ترکیبات فنولی کل	فعالیت آنتی اکسیدانی	سفتی	تفاوت رنگی
A	۲/۳۹*	۰/۶۱*	۵۰/۹۸*	۴/۰۸*	۱/۹۱*	A	۲/۴۱*	۱/۱۳*	۸۱/۱۸*	۳۴/۰۴*	۱/۳۰*
B	۱۱/۷۳*	۰/۵۶*	۴۷/۵۵*	۴۱/۱۹*	۰/۶۶*	B	۴/۸۶*	۰/۴۳*	۱۸/۶۳*	۷۳/۸۷*	۰/۷۳*
AB	۰/۰۴۳ns	۰/۴۷*	۰/۰۸ns	-	-	AB	۰/۳۵*	۰/۰۰۰۳ns	۱/۷۳ns	۱/۹۹*	-
A^2	۰/۳۶ns	۰/۰۲۸*	۱۵/۲۷*	-	-	A^2	-	۰/۰۱۳*	۱/۵۵ns	۱/۶۶*	-
B^2	۱/۱۰*	۰/۰۷۳*	۳۹/۹۳*	-	-	B^2	-	۰/۱۸*	۲۶/۰۳*	۲/۷۹*	-
Model	۱۷/۴۴*	۱/۴۵*	۱۷۰/۴۵*	۲۳/۹۷*	۳/۵۷*	Model	۷/۶۳*	۱/۸۱*	۱۳۹/۴۳*	۱۰۳/۱۹*	۲/۰۴*
Lack of fit	۰/۱۶۹۲	۰/۹۳۱۵	۰/۳۶۶۰	۰/۳۳۹۳	۰/۸۴۰۷	Lack of fit	۰/۳۳۳۹	۰/۷۵۸۶	۰/۶۶۴۶	۰/۹۹۲۰	۰/۹۴۷۳
R^2	۰/۹۵۹۸	۰/۹۸۱۰	۰/۹۰۹۴	۰/۸۴۳۵	۰/۹۱۳۳	R^2	۰/۹۶۲۸	۰/۹۷۰۳	۰/۹۴۹۹	۰/۹۸۱۴	۰/۹۶۴۵
Adj-R^2	۰/۹۳۱۱	۰/۹۶۴۴	۰/۸۴۴۷	۰/۸۱۱۰	۰/۸۹۵۸	Adj-R^2	۰/۹۵۱۷	۰/۹۴۹۱	۰/۹۱۴۱	۰/۹۶۸۲	۰/۹۵۷۳
CV (%)	۱۴/۸۶	۱/۵۲	۲/۸۸	۱۰/۴۲	۲/۸۷	CV (%)	۹/۳۴	۲/۱۰	۲/۴۵	۵/۵۳	۱/۵۸

ns و * به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵>p است.

ویژگی‌های بافتی دانه‌های سویا

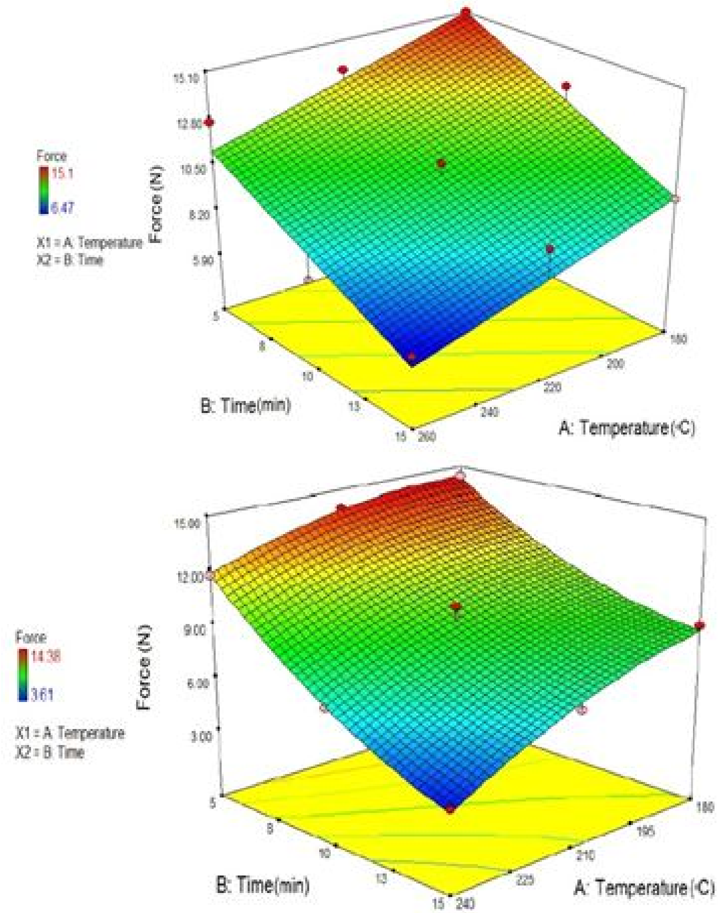
اثر دما و زمان فرایند برشته کردن به روش آون و مادون قرمز در شکل4 و جدول3 نشان داده شده است. تغییرات حداکثر نیروی لازم برای فشردن دانه‌های سویا نشان داد که با افزایش دما و زمان، حداکثر نیروی لازم برای فشردن کاهش می‌یابد که این امر به دلیل کاهش رطوبت و در نتیجه افزایش تخلخل در ماده است. برشته کردن به روش آون از معادله خطی و برشته کردن به روش مادون قرمز از معادله درجه دوم پیروی می‌کند. اثر تمامی فاکتورها بر سفتی دانه‌های سویا معنی‌دار ($p<0/05$) بود.

شاخص عدم برازش برای این مدل‌ها غیرمعنی‌دار (0/05) محاسبه شد. ضریب تبیین برای مدل‌های برازش شده بالای 0/90 تعیین شد.

Y4Oven roasting = + 26.51244 - 0.048917 A - 0.52400B (7)

Y4Infrared roasting = - 13.42126 + 0.34162 A - 0.51455 B – 4.70000 × 10-3 AB – 8.60345 × 10-4 A2 + 0.040228 × B2 (8)

با پیشرفت فرایند برشته کردن و کاهش میزان آب موجود در بافت ماده غذایی، تخلخل افزایش می‌یابد که البته بسته به نوع فرایند تا حدودی متفاوت است. امواج مادون قرمز با مکانیسم اثر بر مولکول‌های قطبی و ایجاد حرارت داخلی از جمله روش‌هایی است که با ایجاد فشار داخلی موجب ایجاد بافت متخلخل و در نهایت تردی بافت می‌شود. Uysal و همکاران (2009) نتایج عکس بالا گزارش کردند. آنها دریافتند که میزان نیروی موردنیاز برای شکست فندق طی برشته کردن به روش مایکروویو- مادون قرمز با افزایش زمان، کاهش می‌یابد.



شکل 4- اثر متقابل دما و زمان برشته کردن به دو روش آون و مادون قرمز بر سفتی دانه سویا

خصوصیات رنگی دانه‌های سویا

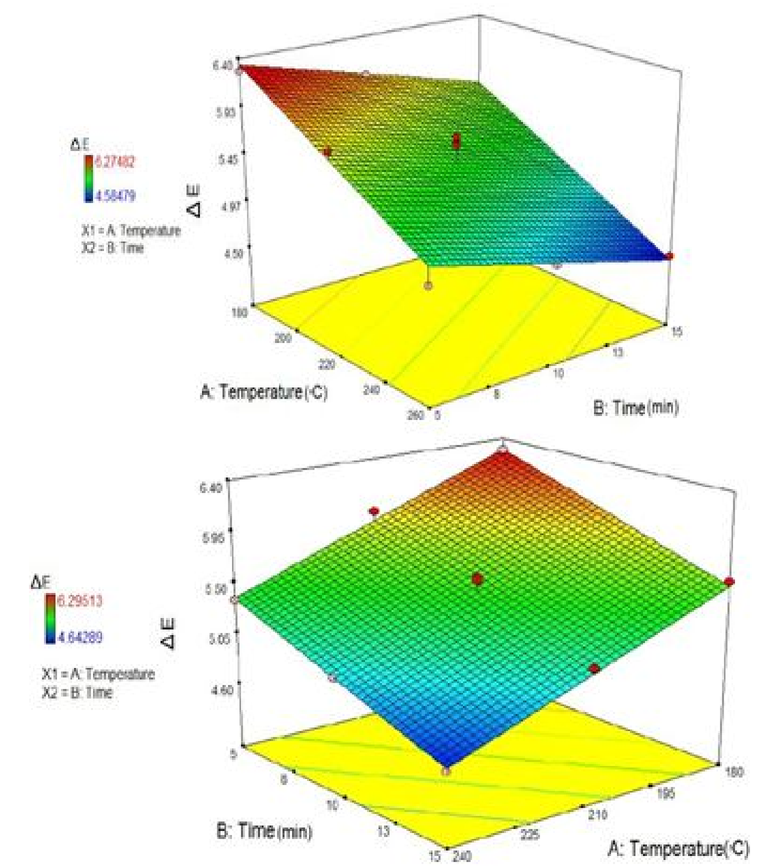
اثر دما و زمان فرایند برشته کردن به دو روش آون و مادون قرمز در شکل 5 و جدول3 نشان داده شده است. دما و زمان فرایند برشته کردن در هر دو روش با تغییر رنگ کل (ΔE) رابطه خطی داشت. اثر دما و زمان در هر دو روش در سطح 0/05 معنی‌دار بود. به‌طور کلی، در تغییر رنگ دانه‌های سویا در تغییر رنگ کل به میزان زیادی وابسته به فاکتور روشنایی (L*) است زیرا بیشترین تغییرات در این فاکتور دیده می‌شود؛ لذا فاکتوری با بیشترین میزان L*، بیشترین میزان ΔE

را دارد. با افزایش دما و زمان برشته کردن، واکنش‌هایی از قبیل قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و کاراملیزه شدن شدت می‌یابند که موجب تیره تر شدن محصول و در نتیجه کاهش میزان L^* و به تبع آن کاهش میزان ΔE می‌گردند.

$$Y5_{Oven\ roasting} = + 9.20975 - 0.014108\ A - 0.066138\ B \quad (9)$$

$$Y5_{Infrared\ roasting} = + 9.45093 - 0.015546\ A - 0.069984\ B \quad (10)$$

شاخص عدم برازش برای هر دو مدل غیر معنی‌دار ($p>0/05$) بود و ضریب R^2 برای روش برشته کردن با آون و مادون قرمز به‌ترتیب برابر 0/9132 و 0/9645 گزارش شد. در برشته کردن بادام‌زمینی نیز با افزایش زمان و دمای خشک کردن، محصول تیره‌تر و مقدار فاکتور روشنایی کمتر شد (Smith *et al.*, 2014). چنین گزارشی در خصوص برشته کردن فندق به روش مایکروویو- مادون قرمز هم گزارش شده است (Uysal *et al.*, 2009).



شکل 5- اثر متقابل دما و زمان برشته کردن به دو روش آون و مادون قرمز بر تغییرات رنگی دانه سویا

بهینه‌سازی شرایط فرایند

به‌منظور بهینه‌سازی شرایط برشته کردن دانه‌های سویا به دو روش آون و مادون قرمز، فاکتورهای ورودی در دامنه تعیین شده و پاسخ‌ها در بهترین و مطلوب‌ترین حالت در نظر گرفته شدند. به این صورت که کمترین مقدار محتوای رطوبتی و بیشینه نیروی لازم جهت فشردن، و در مقابل بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنول کل و تغییر رنگ کل به‌عنوان فاکتورهای بهینه تعیین شدند. فاکتور رنگ از طریف پرسش نامه و نظرسنجی تعیین شد و محدوده‌های روشن‌تر مورد پسند واقع شدند. در جدول4 دما و زمان بهینه جهت فرایند

برشته کردن دانه‌های سویا به دو روش آون و مادون قرمز گزارش شده است.

در ادامه در جدول 5، مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با توجه به فرمول‌های پیشنهادی برای روش‌های برشته کردن با آون و مادون قرمز نشان داده شده است.همانطورکه مشاهده می‌شود مدل‌های فوق به‌خوبی توانسته‌اند اثر متغیرهای دما و زمان برشته کردن با آون و مادون قرمز را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی هندوانه نشان دهند.

جدول 4- مقادیر بهینه شرایط فرایند برشته کردن دانه سویا

پارامترها	برشته کردن با آون	برشته کردن با مادون قرمز
دما (°C)	223	231
زمان (دقیقه)	13	11

جدول 5- مقادیر اندازه گیری شده و پیش‌بینی شده فرایند برشته کردن سویا

پارامترها	برشته کردن با آون		برشته کردن با مادون قرمز	
	پیش بینی شده	اندازه گیری شده	پیش بینی شده	اندازه گیری شده
میزان رطوبت (درصد)	1/02	1/10	1/30	1/58
ترکیبات فنولی کل (میلی گرم اسید گالیک/گرم ماده مرطوب)	4/46	4/53	4/70	4/93
فعالیت آنتی اکسیدانی (٪)	43/42	42/75	46/00	47/85
سفتی (نیوتن)	8/69	9/03	6/72	6/20
تفاوت رنگی (ΔE)	5/19	4/93	5/08	4/79

نتیجه‌گیری

برشته کردن دانه‌های سویا به روش آون و مادون قرمز منجر به تغییرات فیزیکوشیمیایی و کیفی در محصول نهایی شد. فاکتورهای بهینه دما و زمان در دو روش آون و مادون قرمز به‌ترتیب 223C° در 13 دقیقه و 231C° در 11 دقیقه محاسبه شد. برشته کردن به روش مادون قرمز منجر به افزایش رطوبت، ترکیبات فنولی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه‌های سویا در مقایسه با روش آون شد؛ اما سفتی و تفاوت رنگی آن کمتر بود. گرچه این فرایند در مقایسه با روش آون هزینه برتر است، ولی از نظر ایجاد محصول با ویژگی‌های تغذیه‌ای بالاتر مناسب‌تر است. بنابراین، حرارت‌دهی به روش مادون قرمز می‌تواند به‌عنوان یک روش برشته کردن مناسب در مقایسه با حرارت دادن معمولی به‌منظور بالا رفتن ارزش تغذیه‌ای و خصوصیات کیفی دانه سویا پیشنهاد گردد.

منابع

فضلی عقدائی، م.، گلی، س.ا.ح.، کرامت، ج. و انصاریان، ا.، 1395، تأثیر فرایند بو دادن بر میزان ترکیبات فنولیک و خواص آنتی اکسیدانی کنجاله دو رقم پسته اهلی و وحشی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، 51، 74-65.

AOAC. 2003. Official Methods of Analysis; Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Chung, H. S., Chung, S. K., & Youn, K. S., 2011. Effects of roasting temperature and time on bulk density, soluble solids, browning index and phenolic compounds of corn kernels. Journal of food processing and preservation, 35, 832-839.

Demirekler, P., Sumnu, G. & Sahin, S., 2004. Optimization of bread baking in a halogen lamp–microwave combination oven by response surface methodology. European Food Research and Technology, 219, 341- 347.

Dewanto, V., Wu, X., & Liu, R.H., 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 4959-4964.

Fast, R.B., 1990. Manufacturing technology of ready-to-eat cereals. In Breakfast Cereals and How They Are Made (Fast, R.B. an Caldwell, E.F., eds). American Association of Cereal Chemists, St Pa;, Minnesota, SA, pp. 15-42.

Fellows, P.J., 2009. Food processing technology: Principals and practice. 3rd eds, CRC press, Boca Raton and Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, New Delhi, pp. 913.

Hyo, G.K., Gi, W.K., Hyein, O., Se, Y.Y., Young, O.K. & Myung, S.O., 2011. Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (Glycine max L. Merrill). LWT – Food Science and Technology, 44(4), 992-998.

Kim, H.G., Kim, G.W., Oh, H., Yoo, S.Y., Kim, Y.O., & Oh, M.S., 2011. Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (Glycine max L. Merrill). LWT-Food Science and Technology, 44, 992-998.

Milczarek, R.R., Avena-Bustillos, R.J., Peretto, G., & Mchugh, T.H., 2014. Optimization of microwave roasting of almond (Purnus Dulcis). Journal of food processing and preservation, 38, 912-923.

Sitthitrai, K., Ketthaisong, D., Lertrat, K., & Tangwongchai, R., 2015. Bioactive, antioxidant and enzyme activity changes in frozen, cooked, mini, super-sweet corn (Zea mays L. saccharata 'Naulthong'). Journal of Food Composition and Analysis, 44, 1-9.

Smith, A.L., & Barringer, S.A., 2014. Color and volatile analysis of peanuts roasted using oven and microwave technologies. Journal of food science, 79. 1895-1906.

Thidarat, S., Udomsak, M., Jindawan, W., Namphung, D., Suneerat, Y., Sawan, T., & Pisamai, T., 2016. Effect of roasting on phytochemical properties of Thai soybeans. International Food Research Journal, 23, 606-612.

Uysal, N., Sumnu, G., & Sahin, S., 2009. Optimization of microwave–infrared roasting of hazelnut. Journal of Food Engineering, 90, 255-261.

Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R., & Di Scala, K., 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. Food chemistry, 132, 51-59.

Yam, K.L., & Papadakis, S. E., 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of Food Engineering, 61, 137-142.

Žilić, S., Mogol, B.A., Akıllıoğlu, G., Serpen, A., Delić, N., & Gökmen, V., 2014. Effects of extrusion, infrared and microwave processing on Maillard reaction products and phenolic compounds in soybean. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94, 45-51.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 1, Apr. May. 2019, p.133- 144

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره1، فروردین -اردیبهشت 1398 ص.144-133

Effect of oven and infrared roasting on some physicochemical and quality properties of soybeans

F. Ghoulami[1], S. Ansari[2*]

Received: 2018.03.26
Accepted: 2018.08.20

Introduction: Roasting is an essential process that improves the taste, color, texture and appearance of the product. The shelf-life is also extended as a result of roasting. The temperature and the duration of roasting are the most important factors that influence favorable traits. IR is a novel technique for roasting that, compared to conventional heating, has positive advantages such as shorten heating time, significant energy saving and uniform heating. This study aimed to investigate the effect of IR, compared to conventional, roasting on some physicochemical and quality properties of soybeans. Moreover, the conditions of roasting soybeans via the two mentioned methods were optimized using Response Surface Methodology (RSM).

Material and methods: Soybean seeds were collected from a commercial farm in Gorgan (North of Iran) and were dried in an oven at 40 °C for 48 hours until the moisture content became lower than 5 % w/w. For each treatment, 25 g of raw soybeans were spread in glass petri dishes and were then roasted under the conditions selected for each experiment. In conventional roasting an electrical oven with the temperature range of 180 to 260 °C and time duration of 5 to15 min was used. IR roasting was performed using an IR-warm air apparatus with a constant power of 1300 W at the air temperature of 180-240 °C for 5-15 min. After the temperature equilibrium was reached, the samples were packed in polyethylene bags and were kept at 4 °C until further analysis. For each roasting method, a central composite design consisted of two variables of time and temperature (each in three levels) and a total of 13 experiments were applied. Response surface analysis was performed using Design-Expert software. The moisture content of samples was determined by drying the samples in a drying oven at 105 °C until a constant weight was reached. The total phenol content was measured quantitatively by the Folin-Ciocalteu colorimetric method based on the reaction of reagents with the active hydroxyl groups of phenolic compounds. The radical scavenging activity of the samples was determined by the DPPH radical. The force needed to break the roasted seeds was evaluated using a texture analyzer equipped with a load cell of 25 Kg. The color of samples was evaluated in a special box under controlled conditions (in terms of light intensity and camera position) using a digital camera and the color parameters (L^*, a^* and b^*) and the color change (ΔE) were determined.

Results and Discussion: According to the results, the second- and first-order models were suggested for the study of time and temperature effects on moisture reduction that were both significant ($p<0.05$). In two methods, total phenolic content and antioxidant activity models were significantly ($p<0.05$) second-order. With increasing time and temperature, these above values increased. Hardness and color differences of oven roasting were both first-order but only color differences were first-order for infrared roasting. Effects of two parameters were significant in all models. Optimum conditions for soybeans roasting sing oven and infrared were 223°C – 13 min and 231°C – 11 min, respectively. In optimum condition, experimental data for the moisture content, total phenolic content, antioxidant activity, hardness and color differences were: (1.10, 4.53, 42.75, 9.03, and 4.93) , (1.58, 4.93, 47.85, 6.20, and 4.79) respectively. Based on above results, infrared can be introduced as a replacement of conventional oven method for the roasting of soybeans.

Keywords: Soybeans, Roasting, Infrared, Oven, Physicochemical properties

1 and 2. M.Sc. Graduated student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Branch of Kazerun, Kazerun.
(*Corresponding Author Email: ansari.fse@gmail.com)